

海洋構造物の地震応答評価に及ぼす不確定性の影響

鹿児島大学工学部 学生会員 ○城戸内 悟
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二
 鹿児島大学工学部 正会員 木村 至伸

1. はじめに

海洋構造物を構築する際、海洋の有する厳しい条件が構造物に及ぼす影響を把握しておくことは重要である。しかし、それだけにとどまらず、近年の地震による被害の大きさからも明白であるように、地震活動域にある海洋構造物においては、地震力が構造物に及ぼす影響を明確にしておく必要があると考える。また、構造物をより信頼性あるものにするためには、実際バラツキを持つと思われる要因を不確定要因として考慮し、それらが構造物の応答に及ぼす影響を把握する必要がある。本研究では、地震力を外力とし、モデル化した構造物を対象に、モンテカルロシミュレーションにより不確定量を考慮し、信頼性指標を用いて応答評価を行った。

2. 解析モデル及び解析方法^{1), 2)}

本研究で用いた解析モデルを図-1に示す。高さ 90m、幅 60m、奥行き 30m の 4 層から成る 3 次元骨組モデルで、節点数 30、要素数 108 を有す。モデルの基礎を固定し、水深 80m 下に設置した場合を想定した。各部材は鋼管で、すべての板厚を 30mm とし、単位体積重量 77.0kN/m³、弾性係数 2.1×10^8 kN/m²、せん断弾性係数 8.1×10^7 kN/m² と設定した。また、付加質量として最上部の各節点にそれぞれ 1000kN を載荷させた。

解析手順における概略を図-2に、非減衰時の固有値解析により得られた結果を表-1に示す。地震応答解析においては、Newmark の β 法 ($\beta=1/4$) を用いた。時間間隔は 0.01 秒、継続時間はタイプ I 地震動において 30 秒、タイプ II 地震動において 20 秒とした。減衰は剛性比例減衰とし、固有値解析で得られた 1 次の固有振動数を用い、減衰定数は 0.02 とした。以上において求められた各次振動モードの応答を基にモード解析法により各節点の応答を算出した。

信頼性評価においては、不確定要因として弾性係数と入力地震動の最大加速度の 2 つを考慮し、それらに対数正規分布で表わし、それぞれ変動係数 (δ) 10% と 20% の場合についてモンテカルロシミュレーションを用いて解析を行った。本研究で用いた信頼性指標を以下に示す。

$$\beta = (\bar{R} - \bar{S}) / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

ここで、 $\bar{R}$: 抵抗強度に関する平均値、 $\bar{S}$: 作用荷重に関する平均値、 σ_R : 抵抗強度に関する標準偏差、 σ_S : 作用荷重に関する標準偏差とする。また、材料の強度は一般的に 10% のバラツキを持つとされていることから、強度 R の標準偏差 σ_R を $\sigma_R = 0.1\bar{R}$ として指標を求めた。

入力地震動においては、最大加速度を 500gal に基準化した地震波を用い、以下は主に宮城県沖地震で観測されたタイプ I 地震動 - I 種地盤である KAIHOKU-LG について示すこととする。なお、地震波の入力方向は応答の卓越する Y 方向のみとした。

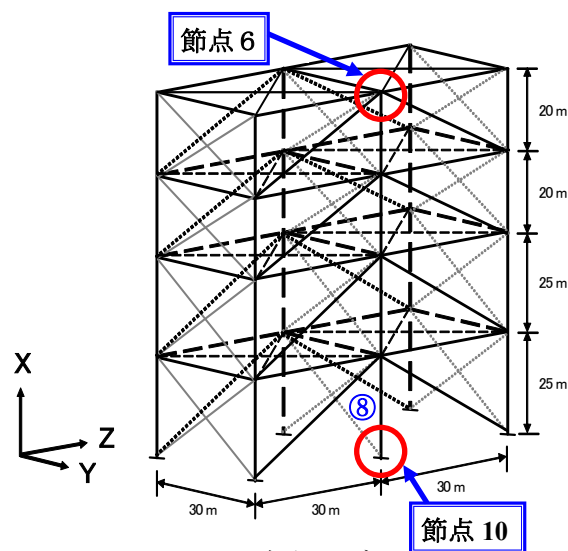


図-1 解析モデル

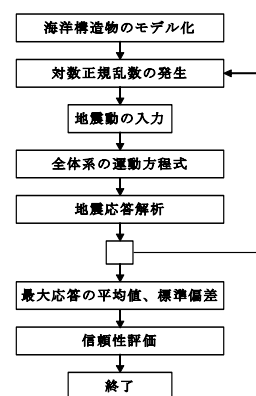


図-2 解析フローチャート

表-1 固有振動数

次数	固有振動数 (rad/sec)
1	4.692
2	5.386
3	5.870
4	10.312
5	10.486

3. 解析結果

まず、弾性係数、入力地震動の最大加速度を確定要因として考慮した場合における時刻歴応答を図-3に示す。これより最大変位 0.56m、最大曲げ応力 194MPa が得られる。

図-4はこれらの不確定性をモンテカルロシミュレーションを用いて解析するとき問題となる解析値の収束状況を示したものである。不確定量が最大応答に及ぼす影響として、変位、曲げ応力とともに、弾性係数による影響がより大きいこと、また、入力最大加速度に不確定性を考慮する場合、変動係数による応答への影響はほとんどないことが見られる。なお、シミュレーション回数が少ないとバラツキが大きいものに対して、回数が増すとほぼ一定に収束することが分かる。本解析では試行回数を 1000 回とした。

図-5は最大応答における入力地震動別の信頼性指標(β)への影響を示したもので、図-6は入力最大加速度による信頼性指標への影響を示したものである。ともに、応答の許容変位を 100cm、SM490 級の部材を想定し許容応力を 320MPa と設定した場合の指標である。図より、KOBEN-S 入力の際においては他の 4 波に比べて極端に安全性が確保されることが分かり、また、地震波によってより信頼性に影響を及ぼす不確定要因は大きく異なることが分かる。不確定要因それぞれについては、変位、曲げ応力ともに、変動係数 10%より 20%の場合の方が信頼性指標は低下する傾向を示している。また、入力最大加速度の増加に伴って信頼性指標は小さくなるが、いずれの場合も不確定量による影響が大きいことが分かる。

4. まとめ

本報告では、基礎を固定した場合の海洋構造物の動的応答に及ぼす不確定量の影響について検討した。入力地震動の最大加速度の変動及び構造特性の変動が海洋構造物の信頼性評価に大きな影響を及ぼすことが分かった。

【参考文献】

- 1) 山田善一編著：耐震構造設計論，京都大学学術出版会，1997
- 2) 橋本努：海洋構造物の動的安全性評価に関する基礎的研究，鹿児島大学学位論文，2002

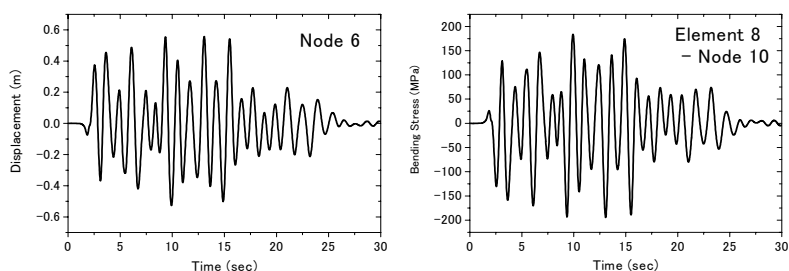


図-3 時刻歴応答

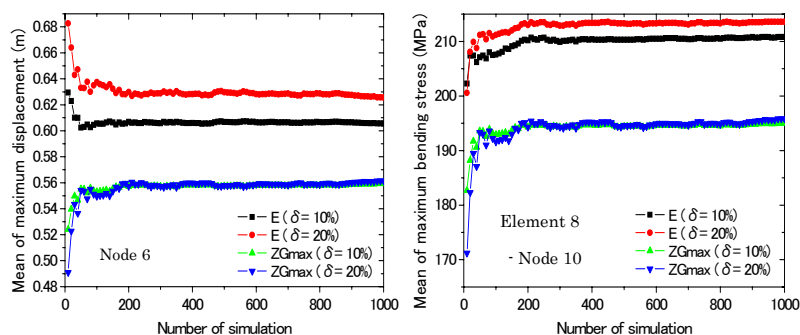


図-4 シミュレーションによる解析値の収束状況

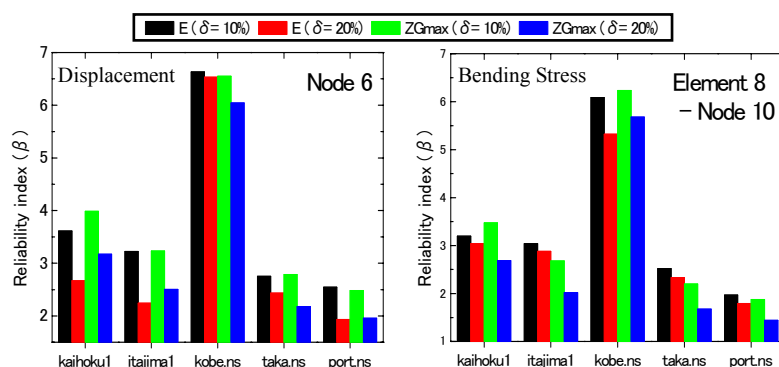


図-5 信頼性指標 (入力地震動による変化)

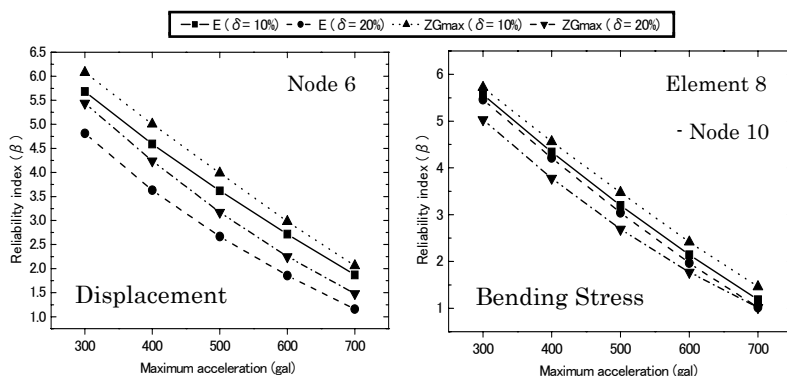


図-6 信頼性指標 (入力最大加速度による変化)